中華農業研究 (Jour. Agric. Res. China) 49(1): 63～75 (2000)

微生物接種對苦柚及文旦柚種苗生長之效應[1]

林素禎[2] 黃山内[3] 洪崑煌[4] 吳繼光[2]

摘要：本試驗利用米糠與接種囊叢枝菌根菌、溶磷細菌及游離性固氮細菌，期能幫助文旦柚苗在含石灰質的鹼性栽培介質中吸收養分及增加作物之生長速度。試驗結果顯示，在鹼性栽培介質中若未添加米糠則苦柚的生長停滯。在這種鹼性介質下，單獨接種菌根菌並不能改善植株的生長。 添加米糠可促進苦柚之生長，使苦柚之株高、葉數與總葉面積皆明顯增加。而添加米糠後再複合接種菌根菌、溶磷細菌與游離性固氮細菌，或添加米糠後再複合接種菌根菌與游離性固氮細菌，可使苦柚生長勢更好，且使嫁接後生長一年的文旦柚之地上部乾重明顯增加，分別為只添加米糠處理者之2.0倍及2.2倍，在文旦柚葉片氮、磷總吸收量方面亦明顯比只添加米糠處理者大。在偏鹼、低有機質含量與低磷的栽培介質中，添加米糠並複合接種菌根菌與游離性固氮菌，或添加米糠並複合接種菌根菌、溶磷細菌與游離性固氮菌，這兩個處理皆可促進苦柚與文旦柚苗之生長。

關鍵詞：文旦柚、米糠、囊叢枝菌根菌、游離性固氮細菌、溶磷細菌。

前　　言

文旦柚(*Citrus grandis forma buntan*)是花蓮地區最重要的果樹之一，根據臺灣省政府農林廳民國84年的臺灣農業年報，全臺灣文旦柚種植面積為6243公頃，花蓮縣2071公頃占33%，為全省最多者。臺灣東部地區礫石地面積廣大，非礫石地土層亦多淺薄。花蓮縣耕地土壤物質主要為沖積物，在光復鄉以北之沖積土，多數具強石灰性，光復鄉以南之沖積土則局部呈石灰性[1]，由於土壤性質極端特殊，容易引起文旦柚營養障礙。為了增強文旦柚對逆境的抗性，農民常將文旦柚嫁接到砧木上。本試驗利用菌根菌、溶磷細菌與游離性固氮細菌接種文旦柚砧木(苦柚)，期能促進苦柚之生長，進而增加文旦柚之生長勢。

柑橘類果樹有囊叢枝菌根菌(VAM)之存在於1935年首次被報導[34]， 囊叢枝菌根菌與柑橘類果樹具有良好之共生關係，根據前人研究結果指出，菌根菌可促進柑橘生長[13,17,24,42,43,44]。卡利柔橙[carrizo citrange：*Poncirus trifoliata* (L.) Raf. X *Citrus sinensis* (L.)Osbeck]與酸橙(sour orange：C. *aurantium* (L.))接種囊叢枝菌根菌*Glomus intraradices*後，接種植株根之導水度增大為未接種者之2倍，且蒸散作用亦明顯增大，接種菌根菌之植株葉片磷含量(0.18%) 也明顯比未接種者 (0.09%) 高[18]。Timmer and Leyden [43] 研究指出，施用500~700 kg P/ha可促進酸橘早期生長，但若無菌根之重新建立，則酸橘生長依然受

1. 行政院農委會農業試驗所　研究報告第2015號。
2. 本所農化系助理研究員、副研究員。 臺灣省、臺中縣 、霧峰鄉。
3. 台南區農業改良場 場長。臺灣省、臺南市。
4. 臺灣大學農化系教授。台北市。

阻，而施用多量的磷肥 (1900~2000 kg P/ha)，雖可促進酸橘早期生長，但抑制菌根之形成，並引起植株缺銅，造成植株後期生長受阻，Bingham等人亦曾報導過量的磷肥 (1800 pounds/acre) 會造成柑橘植株缺銅與硼[9]。

磷肥的種類與施用量會影響柑橘與囊叢枝菌根菌共生之效果，柑橘接種囊叢枝菌根菌*G. etunicatum*後，施用triple superphosphate 0或50 μg P/g soil，生長6個月後，植株地上部乾重明顯比未接菌之對照組重，株高亦較高，當triple superphosphate施用量爲100 μg P/g soil時，接種囊叢枝菌根菌之植株生長勢與未接種之對照組無明顯差異，當triple superphosphate施用量爲200 μg P/g soil時，接種囊叢枝菌根菌之植株生長勢反而比未接種之對照組差；若磷肥爲磷礦石粉，施用量爲0，50，100，200 μg-P/g soi，植株生長6個月後，接種囊叢枝菌根菌之植株生長勢皆明顯比未接種之對照組好。在開發中國家，磷礦石粉取得較容易，且較便宜，栽培多年生果樹，利用磷礦石粉與接種囊叢枝菌根菌，是個很好的組合[2]。

土壤中除了菌根菌外，還有一些有益微生物可幫助作物生長，如溶磷細菌與游離性固氮細菌。磷在土壤中約佔0.05%(w/w)，但植物可利用的磷只佔全磷量的0.1%[36]，磷肥施入土壤後，僅5-15%爲當季作物吸收，其餘在酸性土壤中多與鋁及鐵結合形成難溶性鋁結合磷及鐵結合磷；在鹼性土壤中多與鈣結合，形成難溶性鈣結合磷，對植物吸收造成阻礙[35,32]。Gerretsen[16]發現植物施用不溶性的磷肥，經接種土壤微生物後，可促進植物生長，增加磷的吸收。他純化這些微生物之後，發現這些微生物可幫助磷礦石溶解，促進植物的生長及磷的吸收。自此之後，許多學者致力於純化土壤中的溶磷細菌，期能幫助作物吸收磷，提高磷肥的利用率[6,20,22,37,39]。溶磷菌可爲細菌、眞菌及放線菌[38]，眞菌對磷酸鈣與磷礦石的溶解力比細菌強，且眞菌在多次繼代培養之後仍可保有溶磷能力，而很多細菌在繼代培養之後喪失溶磷能力[26]。油菜施用磷礦石 (20 mg/kg soil)並接種溶磷眞菌 (*Penicillium bilaji*)，其磷吸收量與不接菌而施用等量的磷酸銨 (monoammonium phosphate)處理者之磷吸收量相當[25]。小麥接種P. bilaji後，其植株之乾物重可增加16%，磷總吸收量增加14%[3]。Bajpai and Sundara Rao[6]在小麥的盆栽試驗中發現，接種*Bacillus*可幫助小麥吸收磷，使小麥乾物重增加19%。

游離性固氮細菌廣泛存在土壤中，是提供土壤氮肥重要來源之一[30]。*Azotobacter*屬之游離性固氮細菌消耗1g的碳，可同化10~30g的N_2[28]。游離性固氮細菌可固氮或產生植物生長促進物質(plant growth-promoting substances)，幫助作物生長，增加作物產量[8,10,12]。游離性固氮細菌 (*Azospirillum*)產生的植物生長促進物質，如IAA，gibberellin和類似cytokinin的物質[40]。作物接種*Azospirillum*後，側根增加，側根上的根毛亦增多[31]。接種*Azospirillum*可增加玉米的地上部與根重，玉米收穫時，接種*Azospirillum*之玉米每穗種子數約爲未接種之3倍，其種子之乾重爲未接種之1.59倍；不施氮肥但接種*Azospirillum*的玉米，其產量與不接菌但每公頃施用尿素60公斤的玉米之產量沒有明顯差異[15]。

植物複合接種菌根菌與溶磷細菌後，其所吸收的氮量及磷量比單一接種者所吸收的多[4,33]。玉米經複合接種菌根菌 (*G. fistulosum*) 與溶磷螢光細菌 (*Pseudomonas putida*) 後，對於地上部植體重與總葉面積有加成作用；同時對於根的感染率也較單一接種菌根菌者顯著增加[19]。

植物複合接種菌根菌與游離性固氮細菌後，其根圈內的細菌與放線菌的數目比單一接種者多[5]。番茄接種菌根菌 (*G. fasciculatum*) 後，根圈內游離性固氮細菌 (*Azotobacter chroococcum*) 之數目增加，番茄根部接種游離性固氮細菌 (*A. chroococcum*) 後，菌根菌 (*G. fasciculatum*) 之感染率及產孢量增加，複合接種菌根菌與游離性固氮細菌的番茄，其乾物重明顯比未接種者大[5]。

本文中除了探討菌根菌、溶磷細菌與游離性固氮細菌單獨接種對苦柚與文旦柚生長之影響之外，亦探討菌根菌與溶磷細菌、菌根菌與游離性固氮細菌兩菌種複合接種及三種菌種複合接種，對苦柚與文旦柚的生長與植體氮、磷含量之影響。

材料與方法

一、供試作物：苦柚(*Citrus maxima*)之種子表面消毒後置於培養箱28℃中培養，發根至2公分長以後種在蛭石中，俟長至3~4個葉片時，選取生長勢相當之幼苗進行接種試驗。

二、栽培介質：栽培介質爲河砂與蛭石之混合物 (體積比1：1) 。以河砂及蛭石爲栽培介質，乃因土壤成份較複雜，容易影響接菌效果，故以成份單純之河砂及蛭石爲栽培介質。河砂以自來水洗5次，3N HCl浸泡2天，自來水洗四次，蒸餾水洗三次，洗淨之河砂置於烘箱90℃中一天。花蓮縣瑞穗鄉以北之河砂多爲鹼性，其pH值約9.0。本試驗之河砂經浸酸水洗之後，pH值降爲7.0~8.0。磷礦石粉與栽培介質一起混合，其添加量爲每升的介質加 24 g。磷礦石粉P_2O_5含量爲32~33%，由臺灣肥料公司購得。米糠之添加量爲每升栽培介質中添加24公克，米糠氮含量1.95%，磷含量爲1.91%。米糠是一種養份極高的農業廢棄物，本試驗利用米糠作爲營養來源之一，可使農業廢棄物得到充分利用。

三、試驗菌種：接種試驗分兩組，第一組試驗所使用之菌根菌菌種爲 *Glomus etunicatum Becker & Gerdemann* ，第二組試驗所使用之菌根菌菌種爲 *Acaulospora scrobiculata Trappe*。而溶磷細菌與游離性固氮細菌之接種兩組均使用相同之菌種。菌根菌以百喜草 (*Paspalum notatum Flügge*) 當宿主，百喜草種在以砂爲介質的盆栽中，百喜草收穫時，將根與砂一起收，檢查菌根菌純度及密度，根與砂風乾後以塑膠袋密封，置於冷房4℃中保存，此即爲菌土。本試驗所使用之菌土在冷房中保存了3個月。菌根菌之接種方法爲菌土直接與栽培介質混勻，菌土的接種量爲每株幼苗接約100個孢子。溶磷細菌(TARI-93121301)：由選擇性培養基篩選出可溶解磷酸鈣之菌株[45]，菌株來源爲農業試驗所之試驗田土與自製堆肥。游離性固氮細菌 (TARI-93120116; 93120102) ：由農業試驗所之試驗田及堆肥中篩選而得，以選擇性培養基培養[11]。溶磷細菌與游離性固氮細菌培養一週後，菌液以離心法分離培養液與菌體，培養液倒棄，收集菌體，菌體加水稀釋至定量體積，菌液使用時之菌數約爲10^7 cells ml^{-1} 。溶磷細菌與游離性固氮細菌之接種方法爲吸取處理好之菌液，沿幼苗之莖部底端澆灌，使菌液流至根部，每株幼苗接種量約爲 5 X 10^7 cells。

四、試驗處理：兩組接種試驗之處理皆爲八種：(1)空白組(Blank) ，(2)接種菌根菌 (VA) ， (3)不接菌但栽培介質添加米糠 (B) ， (4) 接種溶磷細菌並添加米糠 (PS+B) ， (5)接種游離性固氮細菌並添加米糠 (NF+B) ，(6)複合接種菌根菌與溶磷細菌並添加米糠 (VA+PS+B) ，(7)複合接種菌根菌與游離性固氮細菌並添加米糠 (VA+NF+B) ，(8)複合接種菌根菌、溶磷細菌與游離性固氮細菌並添加米糠 (VA+PS+NF+B)。每一處理之苦柚各種3盆，每盆一株。第一組試驗接種日期爲民國83年3月1日，第二組試驗接種日期爲民國83年5月4日。每星期以Modified Hoagland營養液(含磷8 ppm)澆灌，各處理每盆所加之營養液量與濃度皆相同，營養液之用量則隨著植株生長而增加。苦柚苗期在花蓮區農業改良場網室中生長，網室屋頂爲玻璃，四周以網子圍住，六個月後移出網室露天栽培，但植株仍種在盆子內。試驗期間，網室之溫度範圍爲15.6~37.5℃。苦柚接菌處理後生長6個月換大盆繼續培養，栽培介質如前所述，另於換盆時作第二次接種。

五、生育調查與植體分析：苦柚接種後定期調查其株高與葉數,並測定葉面積。苦柚生長約一年後，於隔年進行嫁接 (84年3月3日)，接穗爲文旦柚嫩芽。嫁接後生長348天，第一組試驗處理之文旦柚移植至田土種植，繼續觀察成樹後生長之情形；第二組試驗處理之文旦柚採收其地上部，洗淨、烘乾、秤其乾物重。文旦柚葉片經烘乾磨碎，以硫酸分解與過氧化氫氧化後，分解液用來測定氮含量與磷含量。氮含量以微量擴散法測定，磷含量以鉬黃法測定。

六、栽培介質理化性質分析：在文旦柚嫁接時，同時進行栽培介質取樣，分析栽培介質之pH值， 電導

度，有機質含量，有效性磷之含量。pH值以玻璃電極法 (水土比1:1) 測定，電導度以電導度計測定，有機質以比色法測定，有效磷以Olsen's method測定。

結 果

一、微生物接種對苦柚株高、葉數與總葉面積之影響：苦柚經處理後定期調查其株高、葉數與總葉面積，第一組試驗與第二組試驗調查結果如下：

(一)第一組試驗

各處理苦柚定期調查之株高列於表1，由表1可知，在調查期間，苦柚不添加米糠不接菌之處理(Blank)，其株高比其他七種處理小，在試驗處理143天後，苦柚株高只有5.8 cm，已明顯比其他七種處理小。不加米糠而單獨接種菌根菌處理(VA)之苦柚，在調查期間，其株高比添加米糠之六種處理小，試驗處理234天後，其株高爲38.0 cm，明顯比添加米糠之六種處理小，此時添加米糠之六種處理苦柚株高爲68.7~117.0 cm。在添加米糠的六種處理中，複合接種菌根菌與溶磷細菌(VA+PS+B)、複合接種菌根菌與游離性固氮細菌(VA+NF+B)，及複合接種菌根菌、溶磷細菌與游離性固氮細菌(VA+PS+NF+B)，這三種處理苦柚之株高比只添加米糠之處理(B)高，而這三種處理中，在試驗處理234天後，只有複合接種菌根菌、溶磷細菌與游離性固氮細菌(VA+PS+NF+B) 一處理苦柚之株高(117 cm)明顯比只添加米糠之處理(B)(86.5 cm)高，爲只添加米糠處理之1.4倍。各處理苦柚定期調查之葉數列於表2，由表2可知，在調查期間，苦柚不添加米糠不接菌之處理(Blank)，其葉數比其他七種處理少，在試驗處理114天後，苦柚葉數(3.7葉)已明顯比其他七種處理少，其他七種處理苦柚葉數爲9.4~20.5葉。不加米糠而單獨接種菌根菌處理(VA)之苦柚，在調查期間，其葉數亦比添加米糠之六種處理少，試驗處理234天後，其葉數(29.7葉)明顯比添加米糠之四種處理少，這四種處理爲只添加米糠之處理(B)(46葉)、複合接種菌根菌與溶磷細菌(VA+PS+B)(54.3葉)、複合接種菌根菌與游離性固氮細菌(VA+NF+B) (66.7葉)，及複合接種菌根菌、溶磷細菌與游離性固氮細菌(VA+PS+NF+B) (61.7葉)。在添加米糠之六種處理中，複合接種菌根菌與游離性固氮細菌(VA+NF+B)，及複合接種菌根菌、溶磷細菌與游離性固氮細菌(VA+PS+NF+B) 之兩處理經234天後，苦柚之葉數明顯比只添加米糠之處理(B) (46葉)多，分別爲只添加米糠處理(B)之1.45倍，1.34倍。試驗處理252天後調查苦柚之葉數與總葉面積，

表1. 苦柚接種不同微生物製劑後對株高之影響.
(接種日期：83年3月1日)

Table 1. Effects of different microbial inoculation on the plant height of *C. maxima* (Inoculation date: March 1, 1994)

Unit: cm

Treatments[z]	Days after inoculation						
	73	91	114	143	174	206	234
Blank	3.8[c y]	4.2[c]	5.5[e]	5.8[f]	7.0[f]	9.3[f]	9.3[d]
VA	4.5[c]	5.0[c]	9.1[de]	15.0[e]	22.7[e]	30.2[e]	38.0[d]
B	4.3[c]	8.2[b]	14.5[bc]	23.3[cd]	34.0[cd]	58.0[bcd]	86.5[bc]
PS＋B	4.7[bc]	6.3[bc]	10.7[cd]	17.2[de]	26.3[cde]	42.2[de]	68.7[c]
NF＋B	5.3[bc]	7.0[bc]	12.0[bcd]	18.0[de]	25.0[de]	44.8[cde]	73.0[c]
VA＋PS＋B	6.6[ab]	8.3[b]	16.0[b]	27.2[bc]	36.7[bc]	63.3[abc]	94.7[abc]
VA＋NF＋B	8.3[a]	11.6[a]	21.3[a]	33.7[ab]	46.3[ab]	73.7[ab]	115.3[ab]
VA＋NF＋PS＋B	8.2[a]	12.2[a]	24.1[a]	37.5[a]	51.5[a]	79.4[a]	117.0[a]

[z] VA：VA mycorrhiza；B：Bran； PS：Phosphate solubilizing bacteria；NF：Free-living nitrogen-fixing bacteria.
[y] Means in each column with the same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test, 5% level.

表2. 苦柚接種不同微生物製劑後對葉數之影響.
(接種日期：83年3月1日)

Table 2. Effects of different microbial inoculation on the leaf number of *C. maxima* (Inoculation date: March 1, 1994)

Treatments[z]	Days after inoculation						
	73	91	114	143	174	206	234
Blank	3.0[d y]	3.1[f]	3.7[d]	4.5[d]	6.5[d]	7.5[d]	7.5[e]
VA	4.2[d]	4.9[ef]	9.9[c]	15.1[c]	19.5[c]	24.4[c]	29.7[d]
B	6.0[bc]	8.2[bc]	12.3[bc]	18.1[bc]	24.0[bc]	34.8[bc]	46.0[bc]
PS＋B	4.5[cd]	5.7[de]	9.4[c]	14.3[c]	20.2[c]	26.3[c]	36.0[cd]
NF＋B	6.1[bc]	7.0[cd]	10.1[c]	15.2[bc]	19.8[c]	30.1[c]	41.9[bcd]
VA＋PS＋B	6.9[ab]	8.4[bc]	13.4[bc]	20.6[b]	27.5[b]	43.8[ab]	54.3[ab]
VA＋NF＋B	8.4[a]	11.2[a]	20.5[a]	29.7[a]	36.8[a]	51.0[a]	66.7[a]
VA＋NF＋PS＋B	7.2[ab]	9.6[ab]	16.3[b]	26.7[a]	35.2[a]	48.6[a]	61.7[a]

[z] VA：VA mycorrhiza；B：Bran； PS：Phosphate solubilizing bacteria；NF：Free-living nitrogen-fixing bacteria.
[y] Means in each column with the same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test, 5% level.

表3. 苦柚接種不同微生物製劑252天後對葉數與葉面積之影響.
(接種日期：83年3月1日)

Table 3. Effects of different microbial inoculation on the leaf number and area of *C. maxima* after 252 days (Inoculation date: March 1, 1994)

Treatments[z]	leaf number (no.)	Total leaf area (cm^2)
Blank	7[d y]	49[c]
VA	27[c]	610[c]
B	45[b]	2043[b]
PS＋B	40[bc]	2080[b]
NF＋B	40[bc]	2010[b]
VA＋PS＋B	55[ab]	2898[ab]
VA＋NF＋B	68[a]	3611[a]
VA＋NF＋PS＋B	66[a]	3701[a]

[z] VA：VA mycorrhiza；B：Bran； PS：Phosphate solubilizing bacteria；NF：Free-living nitrogen-fixing bacteria.
[y] Means in each column with the same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test, 5% level.

其結果列於表3，由表3可知，苦柚添加米糠之六處理，其葉數(40~68葉)明顯比不加米糠之兩處理(7,27葉)多，總葉面積(2010 cm^2~3701cm^2)亦明顯比不加米糠之兩處理(49,610 cm^2)大。在不加米糠的兩處理中，苦柚接種菌根菌之處理(VA)，其葉數(27葉)比不接菌之處理(Blank) (7葉)多，其總葉面積(610cm^2)比不接菌之處理(Blank)(49cm^2)多，但無顯著差異。在添加米糠的六處理中，苦柚複合接種菌根菌、溶磷細菌與游離性固氮細菌(VA+PS+NF+B)及複合接種菌根菌與游離性固氮細菌(VA+NF+B)，兩處理之葉數分別爲66葉,68葉，明顯比只添加米糠之處理(B)(45葉)多，其總葉面積分別爲3701cm^2,3611cm^2，亦明顯比只添加米糠之處理(B)2043cm^2大，兩處理之總葉面積爲只添加米糠之處理(B)之1.8倍。添加米糠並複合接種菌根菌與溶磷細菌(VA+PS+B)、單獨接種溶磷細菌(PS+B)及單獨接種游離性固氮細菌(NF+B)之三處理，葉數與總葉面積與只添加米糠之處理(B) 無明顯差異。

(二)第二組試驗

各處理苦柚定期調查之株高列於表4，由表4可知，在試驗處理141天後，栽培介質添加米糠之六種

表4. 苦柚接種不同微生物製劑後對株高之影響 (接種日期：83年5月4日)

Table 4. Effects of different microbial inoculation on the plant height of *C. maxima* (Inoculation date: May 4, 1994)

Unit: cm

Treatments [z]	Days after inoculation							
	8	26	49	78	109	141	169	199
Blank	3.9 [b y]	4.3 [b]	4.8 [cd]	5.1 [c]	5.1 [c]	5.7 [c]	5.7 [c]	5.7 [c]
VA	3.7 [b]	4.1 [b]	4.5 [cd]	5.3 [c]	5.3 [c]	6.0 [c]	6.0 [c]	6.0 [c]
B	4.5 [ab]	4.9 [ab]	6.5 [bc]	10.2 [bc]	16.4 [bc]	27.3 [b]	42.6 [b]	47.7 [bc]
PS+B	4.0 [b]	4.7 [ab]	8.5 [ab]	14.3 [ab]	23.5 [ab]	37.5 [ab]	62.0 [ab]	74.0 [ab]
NF+B	5.6 [a]	5.8 [a]	9.0 [ab]	15.0 [ab]	24.0 [ab]	35.2 [ab]	66.7 [ab]	76.0 [ab]
VA+PS+B	4.0 [b]	4.7 [ab]	9.1 [a]	14.5 [ab]	22.2 [ab]	37.5 [ab]	62.0 [ab]	81.3 [ab]
VA+NF+B	3.8 [b]	4.4 [ab]	8.3 [ab]	15.8 [ab]	27.2 [ab]	42.2 [ab]	58.0 [ab]	78.3 [ab]
VA+PS+NF+B	4.5 [ab]	5.0 [ab]	10.9 [a]	20.2 [a]	31.0 [a]	48.3 [a]	83.0 [a]	108.3 [a]

[z] VA ：VA mycorrhiza ；B ：Bran ； PS ：Phosphate solubilizing bacteria ；NF ：Free-living nitrogen-fixing bacteria.

[y] Means in each column with the same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test, 5% level.

表5. 苦柚接種不同微生物製劑後對葉數之影響 (接種日期：83年5月4日)

Table 5. Effects of different microbial inoculation on the leaf number of *C. maxima* (Inoculation date: May 4, 1994)

Unit: no.

Treatments [z]	Days after inoculation							
	8	26	49	78	109	141	169	199
Blank	4.7 [a y]	4.9 [a]	5.4 [c]	5.7 [d]	6.3 [c]	6.7 [e]	6.7 [d]	6.7 [d]
VA	3.7 [a]	3.7 [a]	4.3 [c]	5.3 [d]	6.0 [c]	6.0 [e]	6.0 [d]	7.3 [d]
B	4.9 [a]	4.9 [a]	6.1 [bc]	11.2 [bc]	16.4 [ab]	23.3 [d]	31.3 [c]	37.0 [c]
PS+B	4.8 [a]	4.9 [a]	7.6 [ab]	12.7 [abc]	17.2 [ab]	27.0 [bcd]	35.0 [bc]	40.7 [bc]
NF+B	4.6 [a]	4.7 [a]	8.4 [a]	11.1 [c]	15.6 [b]	24.1 [cd]	34.3 [bc]	37.7 [bc]
VA+PS+B	4.8 [a]	4.9 [a]	9.3 [a]	12.8 [abc]	19.8 [ab]	27.1 [bcd]	37.7 [abc]	46.0 [abc]
VA+NF+B	4.7 [a]	4.7 [a]	9.0 [a]	14.5 [ab]	21.5 [a]	34.0 [a]	45.7 [ab]	58.0 [a]
VA+PS+NF+B	4.6 [a]	4.7 [a]	8.4 [a]	15.5 [a]	21.2 [a]	33.1 [ab]	48.7 [a]	56.0 [a]

[z] VA ：VA mycorrhiza ；B ：Bran ； PS ：Phosphate solubilizing bacteria ；NF ：Free-living nitrogen-fixing bacteria.

[y] Means in each column with the same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test, 5% level.

種處理，苦柚株高(27.3~48.3cm)明顯比不加米糠之兩處理(5.7cm,6.0cm)高。在栽培介質不加米糠的兩處理中，苦柚接種菌根菌之處理(VA)(6.0cm) 與不接菌不添加米糠之處理(Blank)(5.7cm)，其株高無明顯差異。在栽培介質添加米糠的六種處理中，苦柚複合接種菌根菌、溶磷細菌與游離性固氮細菌之處理(VA+PS+NF+B) ，在處理199天後，其株高(108.3cm)明顯比只添加米糠之處理(B)(47.7cm)高，爲添加米糠之處理(B)之2.3倍。其他四種處理苦柚之株高(74.0~81.3cm)比只添加米糠之處理(B)高，但差異不顯著。各處理苦柚定期調查之葉數列於表5，由表5可知，在調查期間，苦柚栽培介質不加米糠之兩處理，其葉片生長勢比栽培介質添加米糠之六種處理差，在試驗處理78天後，葉數(5.7葉,5.3葉)已明顯比添加米糠之六種處理(11.1~15.5葉)少。在栽培介質添加米糠的六種處理中，苦柚複合接種菌根菌、溶磷細菌與游離性固氮細菌(VA+PS+NF+B) 及複合接種菌根菌與游離性固氮細菌(VA+NF+B)兩處理，在試驗處理199天後，苦柚葉數分別爲56葉,58葉，明顯比只添加米糠之處理(B)(37葉)多。試驗處理187天後，調查苦柚之葉數及總葉面積，結果列於表6，由表6可知，苦柚添加米糠之六種處理，其葉數與總葉面積明顯比不加米糠之兩處理大。在不加米糠的兩處理中，苦柚接種菌根菌之處理(VA)，

表6. 苦柚接種不同微生物製劑187天後對葉數與葉面積之影響 (接種日期：83年5月4日)

Table 6. Effects of different microbial inoculation on the leaf number and area of *C. maxima* after 187 days (Inoculation date: May 4, 1994)

Treatments [z]	Leaf number(no.)	Total leaf area(cm^2)
Blank	5[b y]	26[c]
VA	7[b]	53[c]
B	31[a]	1027[b]
PS+B	34[a]	1485[ab]
NF+B	31[a]	1459[ab]
VA+PS+B	35[a]	1765[ab]
VA+NF+B	41[a]	1549[ab]
VA+PS+NF+B	43[a]	2147[a]

[z] VA ：VA mycorrhiza ；B ：Bran ； PS ：Phosphate solubilizing bacteria ；NF ：Free-living nitrogen-fixing bacteria.

[y] Means in each column with the same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test, 5% level.

表7. 文旦柚接種不同微生物製劑後對乾重之影響 (接種日期：83年5月4日)

Table 7. Effect of different microbial inoculation on the dry weight of wentan pomelo (*C. grandis forma buntan*) (Inoculation date: May 4, 1994)

Treatments [z]	Stem weight(g)	Leaf weight(g)	Shoot weight(g)
B	59.43[b y]	37.34[c]	96.76[c]
PS+B	93.9[ab]	61.04[bc]	154.94[abc]
NF+B	86.53[ab]	62.89[bc]	149.42[bc]
VA+PS+B	111.13[a]	64.20[abc]	175.33[ab]
VA+NF+B	117.51[a]	90.99[a]	217.68[a]
VA+PS+NF+B	126.68[a]	78.73[a]	196.25[ab]

[z] VA ：VA mycorrhiza ；B ：Bran ； PS ：Phosphate solubilizing bacteria ；NF ：Free-living nitrogen-fixing bacteria.

[y] Means in each column with the same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test, 5% level.

其葉數(7葉)與總葉面積(53cm^2)與不接種之處理(Blank)(5葉,26cm^2)無顯著差異。在添加米糠的六種處理中，只有苦柚複合接種菌根菌、溶磷細菌與游離性固氮細菌(VA+PS+NF+B)一處理其總葉面積(2147cm^2)明顯比添加米糠之處理(B)(1027cm^2) 大，為米糠處理(B)之2.1倍。

二、微生物接種對文旦柚地上部乾重及葉片氮、磷吸收量之影響

苦柚於隔年(84年3月3日)進行嫁接，接穗為文旦柚嫩芽。不添加米糠的兩處理(Blank, VA)，因生長勢太差，無法進行嫁接。苦柚嫁接後生長348天，採收其地上部，洗淨、烘乾、秤其乾物重，各處理之莖、葉與地上部乾重列於表七，由表7可知，在莖之乾重方面，栽培介質添加米糠的六種處理中，複合接種菌根菌、溶磷細菌與游離性固氮細菌(VA+PS+NF+B)(126.68g)， 複合接種菌根菌與游離性固氮細菌(VA+NF+B) (117.51g)，與複合接種菌根菌與溶磷細菌(VA+PS+B)(111.13g)，此三種處理之莖乾重明顯比只添加米糠(B)之處理(59.43g)大。在葉之乾重方面，複合接種菌根菌與游離性固氮細菌並添加米糠(VA+NF+B)(90.99g)及複合接種菌根菌、溶磷細菌與游離性固氮細菌並添加米糠(VA+PS+NF+B)(78.73g)，此二處理之葉乾重最大，明顯比只添加米糠之處理(B)(37.34g)大。在地上部

之乾重方面，複合接種菌根菌與游離性固氮細菌並添加米糠(VA+NF+B)(217.68g)，複合接種菌根菌與溶磷細菌並添加米糠(VA+PS+B)(175.33g)，與複合接種菌根菌、溶磷細菌與游離性固氮細菌並添加米糠(VA+PS+NF+B)(196.25g)，此三種處理之地上部乾重皆明顯比只添加米糠之處理(B)者(96.76g)大，分別為只添加米糠之處理(B)者之2.2倍,1.8倍,2.0倍。

葉片之氮、磷濃度及總吸收量列於表8，由表8可知，氮的濃度以接種溶磷細菌並添加米糠之處理(PS+B)最高，而接種游離性固氮細菌並添加米糠之處理(NF+B)最低。氮的總吸收量，以複合接種菌根菌、溶磷細菌與游離性固氮細菌並添加米糠之處理(VA+PS+NF+B)(2.53g/plant)最大，明顯比只添加米糠之處理(B)(1.1g/plant)大，磷的濃度各處理間無明顯差異。磷的總吸收量，以複合接種菌根菌與游離性固氮細菌之處理並添加米糠(VA+NF+B)(0.14g/plant)最大，明顯比只添加米糠之處理(B) (0.07g/plant)大。

表8. 文旦柚接種不同微生物製劑後對葉片氮、磷之影響 (接種日期：83年5月4日)

Table 8. Effect of different microbial inoculation on the change of leaf N and P contents of wentan pomelo (*C. grandis forma buntan*) (Inoculation date: May 4, 1994)

Treatments [z]	N(%)	P(%)	N(g/plant)	P(g/plant)
B	2.88[abc y]	0.17[a]	1.10[c]	0.07[c]
PS+B	3.24[a]	0.17[a]	1.98[abc]	0.11[ab]
NF+B	2.51[c]	0.16[a]	1.57[bc]	0.10[bc]
VA+PS+B	2.86[abc]	0.17[a]	1.84[abc]	0.11[ab]
VA+NF+B	2.68[bc]	0.16[a]	2.43[ab]	0.14[a]
VA+PS+NF+B	3.20[ab]	0.16[a]	2.53[a]	0.13[ab]

[z] VA：VA mycorrhiza；B：Bran；PS：Phosphate solubilizing bacteria；NF：Free-living nitrogen-fixing bacteria.

[y] Means in each column with the same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test, 5% level.

三、微生物接種對栽培介質理化性質之影響

在文旦柚嫁接隔天進行栽培介質取樣，分析栽培介質之理化性質：

(一)第一組試驗

各處理栽培介質之理化性質列於表9，由表9可知，單獨接種菌根菌不加米糠(VA)與不接菌不加米糠(Blank)兩處理之pH值較高，其pH值為8.4，明顯比其他添加米糠之各處理高，其他添加米糠之處理為7.85～8.08，pH值會影響營養元素之有效性，pH值太高，有些營養元素有效性降低。有機質之含量，單獨接種菌根菌不加米糠(VA)與不接菌不加米糠(Blank)兩處理0.69 %最低，其他處理有機質含量為0.76~1.04 %。各處理之EC值皆不高，123.7~148.1 μS/cm。有效性磷的含量，單獨接種菌根菌不加米糠(VA)與不接菌不加米糠(Blank)兩處理分別為2.3,2.0 ppm (Olsen's P)，明顯比其他有加米糠之各處理磷含量少，其他處理為11.0～12.5 ppm 。

(二)第二組試驗

第二組試驗各處理栽培介質之理化性質列於表10，由表10可知，單獨接種菌根菌不加米糠(VA)與不接菌不加米糠(Blank)兩處理之pH值較高，其pH值分別為8.54, 8.53，明顯比其他添加米糠之各處理高，其他添加米糠之處理為7.76~7.96。有機質之含量，單獨接種菌根菌不加米糠(VA)與不接菌不加米糠(Blank)兩處理0.64, 0.67 %最低，其他添加米糠之處理有機質含量為0.78~0.89 %。各處理之EC值皆不高，104~138 μS/cm。有效性磷的含量，單獨接種菌根菌不加米糠(VA)與不接菌不加米糠(Blank)兩

處理分別爲1.3, 1.7 ppm (Olsen's P)，明顯比其他有加米糠之各處理磷含量少，其他有加米糠之各處理爲10.7~14.0 ppm。

表9. 苦柚接種不同微生物製劑363天後栽培介質之理化性質 (接種日期：83年3月1日)

Table 9. Physical and chemical properties of potting medium (sand: vermiculite=1:1 v/v) after 363 day-growth of *C. maxima* (Inoculation date: March 1, 1994)

Treatments [z]	pH(1:1)	OM(%)	EC(μS/cm)	Olsen's P(mg/kg)
Blank	8.40[a y]	0.69[c]	148.1[a]	2.0[b]
VA	8.40[a]	0.69[c]	144.4[ab]	2.3[b]
B	7.96[c]	0.92[b]	135.2[bc]	11.0[a]
NF+B	8.08[b]	0.89[b]	124.6[d]	10.5[a]
PS+B	7.94[cd]	0.95[ab]	130.2[cd]	12.0[a]
VA+NF+B	7.98[c]	1.04[a]	123.7[d]	11.7[a]
VA+PS+B	7.85[d]	0.92[b]	125.0[d]	12.5[a]
VA+PS+NF+B	7.97[c]	0.76[c]	126.0[cd]	12.2[a]

[z] VA：VA mycorrhiza；B：Bran； PS：Phosphate solubilizing bacteria；NF：Free-living nitrogen-fixing bacteria.
[y] Means in each column with the same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test, 5% level.

表10. 苦柚接種不同微生物製劑298天後栽培介質之理化性質(接種日期：83年5月4日)

Table 10. Physical and chemical properties of potting medium (sand:vermiculite=1:1 v/v) after 298 day-growth of *C. maxima* (Inoculation date: May 4, 1994)

Treatments [z]	pH(1:1)	OM(%)	EC(μS/cm)	Olsen's P(mg/kg)
Blank	8.53[a y]	0.67[c]	127[ab]	1.7[b]
VA	8.54[a]	0.64[c]	138[a]	1.3[b]
B	7.96[b]	0.88[a]	116[bcd]	12.2[a]
PS+B	7.95[b]	0.84[ab]	116[bcd]	10.7[a]
NF+B	7.84[cd]	0.78[b]	120[bc]	11.7[a]
VA+PS+B	7.76[d]	0.89[a]	124[b]	14.0[a]
VA+NF+B	7.83[cd]	0.87[a]	111[cd]	11.3[a]
VA+PS+NF+B	7.91[bc]	0.83[ab]	104[d]	11.0[a]

[z] VA：VA mycorrhiza；B：Bran； PS：Phosphate solubilizing bacteria；NF：Free-living nitrogen-fixing bacteria.
[y] Means in each column with the same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test, 5% level.

討　論

由第一組試驗與第二組試驗結果可知，單獨接種菌根菌不加米糠與不接菌不加米糠兩處理之苦柚生長勢較弱，可能因其栽培介質之pH值太高且有效性磷含量太低所致。在鹼性的栽培介質中，單獨接種菌根菌對苦柚生長幫助不大，磷礦石粉在鹼性與中性的土壤中，很難被植物吸收利用，即使是菌根植物亦無法有效吸收[29]。但添加米糠後，則能明顯促進苦柚之生長。由於米糠是一種含磷量高的有機添加物，所以能提高栽培介質中有效性磷的含量，由2mg/kg提高至11~12mg/kg。此外，添加米糠亦可

稍微降低栽培介質之pH值，原栽培介質之pH值爲8.4~8.5，添加米糠後，pH值降爲8.0。pH值會影響植物營養元素之有效性，當pH值下降時，栽培介質中有些營養元素之有效性亦隨之提高[27]。

添加米糠後再接種游離性固氮細菌，苦柚植株之生長與只添加米糠之對照組無明顯差異。該苦柚於嫁接文旦柚後之地上部乾重，葉片之氮、磷總吸收量皆比對照組大，但未達顯著水準(5%)。添加米糠後再複合接種菌根菌與游離性固氮細菌，則苦柚生長明顯比只添加米糠之處理好，而嫁接後文旦柚之地上部乾重與葉片之氮、磷總吸收量，亦明顯比單獨添加米糠之處理大。複合接種菌根菌與游離性固氮細菌，對苦柚與文旦柚之促進效果，比單獨接種游離性固氮細菌好。根據前人研究之推論，由於菌根菌可幫助植株吸收磷肥，而游離性固氮細菌固氮酵素(nitrogenase)所需的能量來自於ATP，當磷肥處於欠缺狀態時，菌根菌可提供固氮酵素所需ATP的磷，兩者有相互加成的作用，進而促進作物之生長[21,41]。此外，Tien等人指出，游離性固氮細菌可產生植物生長促進物質 (plant growth-promoting substances) ，如IAA，gibberellin ，類似cytokinin的物質[40]，IBA[14]等，因此可增加側根與根毛，增加吸收面積，促進植株生長。但在本研究中發現游離性固氮細菌的接種並沒有造成根部形態的改變現象。

添加米糠後再接種溶磷細菌，雖然苦柚與文旦柚之生長勢皆未明顯增加，但接種溶磷細菌使文旦柚植株葉片之磷總吸收量增加，這可能因溶磷細菌可溶解磷礦石粉，使磷釋放，幫助植株吸收磷肥[26,38]。添加米糠並複合接種菌根菌與溶磷細菌，文旦柚地上部已明顯比只添加米糠之處理重，且葉片之磷總吸收量亦比較多。複合接種菌根菌與溶磷細菌，對苦柚與文旦柚之促進效果，比單獨接種溶磷細菌好，但差異未達顯著。

添加米糠後再複合接種菌根菌、溶磷細菌與游離性固氮細菌，則苦柚生長明顯比只添加米糠之處理好，而嫁接後文旦柚之地上部乾重與葉片之氮、磷總吸收量，皆明顯比單獨添加米糠之處理大。複合接種菌根菌、溶磷細菌與游離性固氮細菌，對苦柚生長之促進效果，比複合接種菌根菌與溶磷細菌或游離性固氮細菌好，對嫁接後文旦柚地上部之乾重，則高於複合接種菌根菌與溶磷細菌，但低於複合接種菌根菌與游離性固氮細菌。

各接菌組之文旦柚葉片磷含量與對照組沒有明顯差異(表8)，但在植株的乾重上(表7)卻有顯著差異，這可能是由於作物生長的稀釋現象所致[23] 。

以複合接種菌根菌、溶磷細菌和游離性固氮細菌(VA+PS+NF+B)來促進作物生長之文獻，迄今尚未有人發表，有關其反應機制，仍待繼續深入探討。

結　論

未添加米糠之處理雖接種菌根菌，其苦柚生長亦不佳。添加米糠可促進苦柚之生長勢，株高、葉數與總葉面積皆明顯增加。而添加米糠後再複合接種菌根菌、溶磷細菌與游離性固氮細菌或添加米糠後再複合接種菌根菌與游離性固氮細菌，可使苦柚長得更好，且在苦柚嫁接文旦柚後，使文旦柚苗之地上部乾重及氮、磷總吸收量明顯增加。

單獨接種菌根菌不加米糠與不接菌不加米糠兩處理之苦柚生長勢較弱，這可能因栽培介質之pH值太高且有效性磷含量太低所致。栽培介質中若加入米糠，則藉由微生物(米糠中原有的或接種的)使米糠分解，釋出營養成份並降低栽培介質之pH值，進而促進苦柚與嫁接後文旦柚之生長。

在石灰性低磷的栽培介質中，添加米糠並複合接種菌根菌與游離性固氮細菌，或添加米糠並複合接種菌根菌、溶磷細菌與游離性固氮細菌，這兩個處理皆可促進苦柚與文旦柚苗之生長。

誌　　謝

本研究感謝臺灣省政府公務預算及農委會計畫(85-科技-1.7- 糧-22(5)，84-科技-2.6-糧-16(2-8)，83-科技-2.6-糧-57(2-8))經費之支持，以及花蓮區農業改良場在試驗期間所提供人力及技術之支援。

引用文獻

1. 陳春泉。1979。花蓮、臺東縣土壤調查報告。 臺灣省農業試驗所報告 第36號。
2. Antunes, V., and E. J. B. N. Cardoso. 1991. Growth and nutrient status of *Citrus* plants as influenced by mycorrhiza and phosphorus application. Plant and Soil 131:11-19.
3. Asea, P. E. A., R. M. N. Kucey, and J. W. B. Stewart. 1988. Inorganic phosphate solubilization by two *Penicilliun* species in solution culture and soil. Soil Biol. Biochem. 20:459-464.
4. Azcon, R., J. M. Barea, and D.·S. Hayman. 1976. Utilization of rock phosphate in alkaline soil by plants inoculated with mycorrhizal fungi and phosphate-solubilizing bacteria. Soil Biol. Biochem. 8:135-138.
5. Bagyaraj, D. J., and J. A. Menge. 1978. Interaction between a VA mycorrhiza and *Azotobacter* and their effects on rhizosphere microflora and plant growth. New Phytol. 80:567-573.
6. Bajpai, P. D., and W. V. B. Sundara Rao. 1971. Phosphate solubilizing bacteria. Part I. Solubilization of phosphate in liquid culture by selected bacteria as affected by different pH values. Soil Sci. & Plant Nutr. 17:41～43.
7. Bajpai, P. D., and W. V. B. Sundara Rao. 1971. Phosphate solubilizing bacteria. Part III. Soil inoculation with phosphorous solubilizing bacteria. Soil Sci. & Plant Nutr. 17:46-53.
8. Barea, J. M., A. F. Bonis, and J. Olivares. 1983. Interactions between *Azospirillum* and VA mycorrhiza and their effects on growth and nutrition of maize and ryegrass. Soil Biol. Biochem. 15:705-709.
9. Bingham, F. T., J. P. Martin, and J. A. Chastain. 1958. Effects of phosphorus fertilization of California soils on minor element nutrition of citrus. Soil Sci. 86:24-31.
10. Brown, M. E. 1974. Bacterization of seeds and roots. Ann. Rev. Phytop. 12:181-198.
11. Döbereiner, J., and J. M. Day. 1976. Associative symbiosis in tropical grasses: characterization of microorganisms and dinitrogen-fixing sites. Vol. 2, pp. 518-538. In ：W. E. Newton and C. J. Nyman (eds.). Proceedings of 1st International Symposium on Nitrogen Fixation. Washington State University Press, Pullman, WA, USA.
12. Dart, P. J. 1986. Nitrogen fixation associated with non-legumes in agriculture. Plant and Soil 90:303-334.
13. Davis, R. M., and J. A. Menge. 1981. *Phytophthora* parasitic inoculation and intensity of vesicular-arbuscular mycorrhizae in *Citrus*. New Phytol. 87:705-715.
14. Fallik, E., Y. Okon, and M. Fischer. 1988. Growth response of maize roots to *Azospirillum* inoculation: effect of soil organic matter content, number of rhizosphere bacteria and timing of inoculation. Soil Biol. Biochem. 20:45-49.
15. Fulchier, M., and L. Frioni. 1994. *Azospirillum* inoculation on maize (*Zea mays*): effect on yield in a field experiment in central Argentina. Soil Biol. Biochem. 26:921-923.
16. Gerretsen, F. C. 1948. The influence of microorganisms on the phosphate intake by the plant. Plant and Soil 1:51-81.
17. Graham, J. H., and D. S. Egel. 1988. *Phytophthora* root rot development on mycorrhizal and phosphorus-fertilized nonmycorrhizal sweet orange seedlings. Plant Dis. 72: 611-614.
18. Graham, J. H., and J. P. Syvertsen. 1984. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizae on the hydraulic conductivity of roots of two *Citrus* rootstocks. New Phytol. 97:277-284.
19. Gryndler, M., and M. Vosatka. 1996. The response of *Glomus fistulosum*-maize mycorrhiza to treatments with culture fractions from *Pseudomonas putida*. Mycorrhiza 6:207-211.
20. Halvorson, H. O., A. Keynan, and H.L. Kornberg. 1990. Utilization of calcium phosphates for microbial growth at alkaline pH. Soil Biol. Biochem. 22:887-890.
21. Ho, I. 1993. Analysis of nutrient uptake by six species of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in *Zea mays* L. Indian J. Mycol. Plant Pathol. 23:64-69.
22. Illmer, P., and F. Schinner. 1992. Solubilization of inorganic phosphate by microorganisms isolated from forest soil. Soil Biol. Biochem. 24:389-395.

23.Jarrell, W. M., and R. B. Beverly. 1981. The dilution effect in plant nutrition studies. Adv. Agron. 34:197-224.

24.Kleinschmidt, G. D., and J. W. Gerdemann. 1972. Stunting of *Citrus* seedlings in fumigated nursery soils related to the absence of endomycorrhizae. Phytopathol. 62: 1447-1453.

25.Kucey, R. M. N., and M. E. Leggett. 1989. Increased yields and phosphorous uptake by Westar canola (*Brassica napus* L.) inoculated with a phosphate-solubilizing isolate of *Penicillium bilaaji*. Can. J. Soil Sci. 69:425-432.

26.Kucey, R. M. N. 1983. Phosphate-solubilizing bacteria and fungi in various cultivated and virgin Alberta soils. Can. J. Soil Sci. 63:671-678.

27.Marschner , H. 1991. Root-induced changes in the availability of micronutrients in the rhizosphere. pp. 503-528. In : Y. Waisel, A. Eshel, and U. Kafkafi (eds.). Plant roots. Marcel Dekker Inc. New York.

28.Mishustin, E. N., and V. K. Shil nikova. 1971. Biological fixation of atmospheric nitrogen. Pennsylvania State Univ. Press, College Park. Pennsylvania.

29.Mosse, B., C. LL. Powell and D. S. Hayman. 1976. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. IX. Interactions between VA mycorrhiza, rook phosphate and symbiotic nitrogen fixation. New Phytol. 76:331-342.

30.Neyra, C. A., and J. Döbereiner. 1977. Nitrogen fixation in grasses. Advances in Agron. 29 : 1-38.

31.Okon, Y., and Y. Kapulnik. 1986. Development and function of *Azospirillum*-inoculated roots. Plant and Soil 90:3-16.

32.Olsen, S. R., and F. E. Khasawneh. 1980. Use and limitations of physical-chemical criteria for assessing the status of phosphorous in soil. pp.361-410. In : F.E. Khasawneh,E.C. Sample, and E.J. Kamprath (eds.). The role of phosphorus in agriculture. Amer. Society of Agron., Madison, Wis.

33.Raj, J., D. J. Bagyaraj, and A. Manjunath. 1981. Influence of soil inoculation with vesicular-arbuscular mycorrhiza and a phosphate-dissolving bacterium on plant growth and ^{32}P-uptake. Soil Biol. Biochem. 13:105-108.

34.Reed, H. S. and T. Fremont. 1935. Factors that influence the formation and development of mycorrhizal associations in *Citrus* roots. Phytopathol. 25:645-647.

35.Russel, E. W. 1973. Soil conditions and plant growth. 10th ed., pp. 555-603. Logman, London.

36.Scheffer, F., and P. Schachtschabel. 1992. Lehrbuch der Bodenkunde. Fredinand Enke Verlag. Stuttgart.

37.Sperber, J. I. 1958. The incidence of Apatite-solubilizing organisms in the rhizosphere and soil. Aust. J. Agric. Res. 9:778-781.

38.Subba Rao, N. S. 1982. Phosphate solubilizing microorganisms. pp.128-136. In : Biofertilizers in agriculture. Oxford and IBH Publishing Co., New Delhi.

39.Thomas, G. V., M. V. Shantaram, and N. Saraswathy. 1985. Occurrence and activity of phosphate-solubilizing fungi from coconut plantation soils. Plant and Soil 87:357-364.

40.Tien, T. M., M. H. Gaskins, and D. H. Hubbell. 1979. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). Appl. & Envir. Microbiol. 37:1016-1024.

41.Tilak, K. V. B. R., C. Y. Li and I. Ho. 1987. Occurrence of nitrogen-fixing *Azospirillum* on surface sterilized mycorrhizal roots of green onion (*Allium cepa*). p. 222. In: Mycorrhizae in the next decade, practical applications and research priorities. IFAS, University of Florida, Gainesville.

42.Timmer, L. W., and R. F. Leyden. 1978. Relationship of seedbed fertilization and fumigation to infection of sour orange seedlings by mycorrhizal fungi and *Phytophthora parasitica*. J. Am. Soc. Hort. Sci. 103: 537-541.

43.Timmer, L. W., and R. F. Leyden. 1978. Stunting of *Citrus* seedlings in fumigated soils in Texas and its correction by phosphorus fertilization and inoculation with mycorrhizal fungi. J. Am. Soc. Hort. Sci. 103: 533-537.

44.Tzean, S. S., and Y. S. Huang. 1980. The occurrence and formation of vesicular-arbuscular mycorrhizae of *Citrus* and maize. Bot. Bull. Acad. Sinica 21:119-134.

45.Young, C. C. 1990. Effects of phosphate-solubilizing bacteria and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on the growth of tree species in subtropical-tropical soils. Soil Sci. & Plant Nutr. 36: 225-231.

Effect of Microbial Inoculation on the Seedling Growth of *Citrus maxima* and Wentan Pomelo[1]

Su-Chen Lin[2], Shan-Ney Huang[3], Kun-Huang Houng[4]
and Chi-Guang Wu[2]

Summary

The main purpose to design this experiment was to evaluate the inoculation effect of VA mycorrhizal fungi (VAMF), phosphate-solubilizing (PSB) and free-living nitrogen-fixing (NFB) bacteria, and the amendment of rice bran on the growth of *Citrus maxima* and wentan pomelo in calcareous medium. The results indicated that without amendment of rice bran did wentan pomelo stock stunt. However, inoculation of VA mycorrhizal fungus solely did not enhance plant growth. Amendment of rice bran could highly improve the growth of wentan pomelo stock. An incorporated use of rice bran and microbial inoculation (VAMF and other bacteria) showed synergistic effect. The biomass of wentan pomelo, which had been grafted for one year and treated with rice bran and other microbial inoculants in the growth medium was two times as much as that of plants treated by rice bran only. Among these microbial treatments, the leaf N and P of wentan pomelo were significantly higher than those treated by rice bran only. A triple inoculation of VAMF, PSB and NFB or a dual inoculation of VAMF and NFB, and an incorporated amendment with rice bran could significantly promote the growth of *Citrus maxima* and wentan pomelo especially in alkaline medium with low organic matter and phosphorus.

Key words：Wentan pomelo, Bran, Arbuscular mycorrhizal fungi, Free-living nitrogen-fixing bacteria, Phosphate-solubilizing bacteria.

---

1. Contribution No. 2015 from Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture.
2. Respectively, Assistant Researcher, Associate Researcher, Department of Agricultural Chemistry, TARI., Wufeng, Taichung, Taiwan.
3. Director, Tainan District Agricultural Improvement Station, Tainan, Taiwan, ROC.
4. Professor, Department of Agricultural Chemistry, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, ROC.